

気候変動がスリランカのコメ生産、 国民経済に及ぼす影響 — 応用一般均衡モデルによる分析 —

Effects of Climate Change on Sri Lankan Rice Production and Economy
— Applied General Equilibrium Approach —

齋藤 之美¹・齋藤 勝宏²・佐藤 秀保³
チャトラ ワインツンガ⁴

Konomi SAITO, Katsuhiro SAITO, Hideyasu SATO
and Chatura Sewwandi WIJETUNGA

1. はじめに

インド南東に位置するスリランカは 1948 年にイギリスからセイロンとして独立し、1978 年以降スリランカ社会主義共和国となっている。2017 年のデータで見ると、人口 2,120 万人、ひとりあたり GDP は 2000 年の固定価格表示で 3,850 米ドル、経済成長率は年率 3.3% を記録している。2016 年時点での貧困率は 4.1% であり、年々改善する傾向にある。年平均気温は摂氏 27 ～ 28 度で年間を通して変動が少ない。島の中央部のワバラガムワ州には標高 2,238m のアダムスピークと呼ばれる山があり、気温は摂氏 15 度程度と冷涼である。スリランカでは雨季は年二回訪れる。4 月から 6 月にかけて南西季節風からもたらされるものと、10 月から 11 月にかけて北東季節風によってもたらされるものである。降水パターンを見ると、北部州や東部州では北東季節風によってもたらされる雨季の降水量が多い傾向にある。また、西部州や南部州ではふたつの雨季の降水量がほぼ同量となっている。北部や東部は比較的降水量が少なく乾燥地帯と呼ばれているが、溜池灌漑が発達しており、二期作が可能である。11 月から 3 月にかけて作付される時期を Maha 期、5 月から 9 月にかけて作付される時期を Yala 期という。降水量が多い Maha 期がメインとなる。実際、県別 (district) の稲の作付面積を見ると一般に Maha 期の作付面積の方が Yala 期の作付面積よりも多い傾向にあるが、Yala 期の降水量に恵まれている西部州や南部州では両期に作付面積がほぼ等しい県もある。主な農産物はコメであるため、乾燥地帯での貧困率が高い傾向に

1 創価大学 経済学部

2 東京大学 農業・資源経済学専攻

3 一橋大学 経済研究所

4 Faculty of Animal Science and Export Agriculture, Uva Wellassa University

ある。図1は、スリランカのコメの生産量、消費量、輸入量などを示したものである。これを見ると、2000年代の半ばにはほぼ自給を達成したことを確認することができる。また、生産量の変動が大きいこと、収量の推移と比べると、生産量の変動は収穫面積の変動によってもたらされていることがわかる。生産量の水準如何では、生産量が消費量に追いつかず、輸入によって国内供給を補っている。

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change 気象変動に関する政府間パネル) によると21世紀末の平均気温上昇は、温室効果ガスの濃度が最も高くなるシナリオで4度、最も濃度を低く抑えるシナリオでも約2度と予想されており、農業生産に大きな影響を及ぼす。農業生産への影響は地域によっても異なるが、熱帯から亜熱帯地域にかけては穀物収量が減少し、温帯では増加する傾向が見られる (Furuya et al. 2015)。熱帯から亜熱帯にかけてはアフリカや南アジアなどの発展途上国が多く含まれている。農業生産の減少は先進諸国にとっては大きな問題ではないが、GDPに占める農業のシェアの高い発展途上国にとっては、農業所得やGDP、更には貧困に及ぼす影響は無視できるものではない。そこで本研究では、スリランカを対象に気候変化が農業生産の減少を媒介に、食料価格、一国のマクロ経済に及ぼす影響と貧困問題へのインプリケーションについて応用一般均衡モデルを利用して評価する。

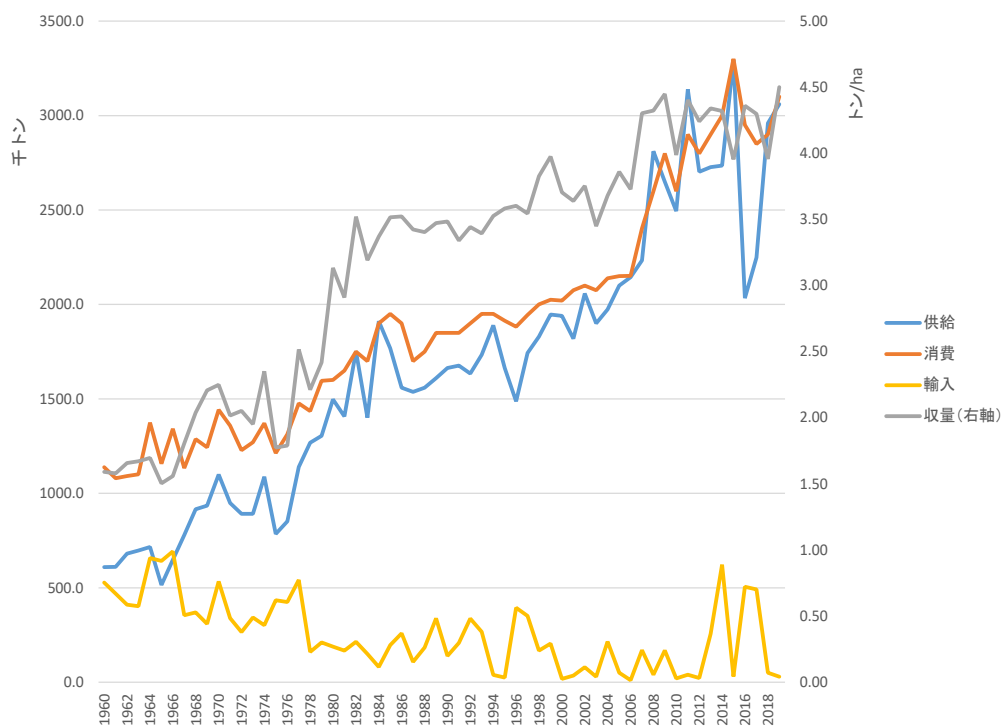


図1 コメの生産、消費および収量の推移
出所：ERS/USDAPSD データより作成

2. 気候変化が農業生産に及ぼす影響

2.1 既往の研究

気象変動がスリランカの農業生産に及ぼす影響については、それほど多く理解されているわけではない。スリランカにおける将来の気候変化を予測する研究や気象変動が、スリランカの農業生産に及ぼす影響を評価する研究がそれほど多くはないからである。それにもかかわらず、スリランカは気象変動の影響をより受けやすいものと思われる。というのは、農業など気象変動の影響を受けやすい部門がスリランカの経済の大きな割合を占めていること、気候変化に適応する機会が乏しいと考えられる労働集約的な生産技術が経済活動のベースとなっているからである (Mendelsohn et al. 2001)。以下では、数少ない研究の中から、気候変化がスリランカの農業生産へ及ぼす影響について考察したものを展望したい。

Eriyagama and Smakhtin (2009) はスリランカの平均気温が、北東モンスーン (11月～2月) で約2.9度、南西モンスーン (5月～9月) で約2.5度上昇するだろうと予測している。また、降水量に関して Silva et al. (2007) は、HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, version 3) の結果から抽出した 2050 年におけるスリランカの気候変化データを用いて、雨季の降水量は 9% から 17% 減少し、雨季の終了する時期が早まり、蒸発散量が 3% から 3.5% 上昇することを見いだししている。降水量が減少するため、稲作における灌漑用水需要は平均で 13%～23% 増加すると予測されている。加えて、Fernando and Chandrapala (1992)、Chandrapala (1996,1997)、Domroes (1996) などの研究によると、スリランカの降水量はこれまでも徐々に減少してきているという。例えば、1931 年から 1960 年の年間平均降水量は 2005mm だったが、1961 年から 1990 年の年平均降水量は 1861mm まで減少してきている (Domroes and Schaefer, 2000)。一方、Madduma Bandara and Wickramagamage (2004) は、Nuwara Eliya の周囲の中央丘陵地帯の集水域を対象とする研究では、1900 年から 2002 年にかけて年間降水量が有意な下降トレンドを示すことを明らかにしている。

Seo et al. (2005) は Ricardian method を使って気象変動がスリランカの農業所得に及ぼす影響について考察している。Ricardian method というのは、農家が与えられた環境の下で単位面積当たりの所得を最大化するように投入量を決定するという仮定の下で、農業所得関数を推計する方法である。農業所得関数は、単位面積当たりの農業所得を気温と降水量の二次式に回帰して推計されている⁵。対象は、コメ、ココナッツ、ゴム、茶の 4 品目である。地域によって、作付する作物構成や単位面積当たりの農業所得が異なるので、地域ごとに気候変化の影響は異なる。気候変化の将来シナリオによっても結果が異なるが、概ね所得が 20% 減少から 72% 増加するという結果が得られている。Kurukulasuriya and Ajwad (2007) も、Seo et al. (2005) と同様に Ricardian method を応用して、気候変化が小規模農家に及ぼす影響について推計し、農家の所得変動の半

5 推計式は、 $NR_i = a_0 + \sum_s (a_s T_s + b_s T_s^2 + c_s P_s + d_s P_s^2) + \sum_c f_c Z_c + \varepsilon$ 。但し、T は気温、P は降水量、Z は地域属性を表す。また、s は季節を表す添字である。

分は気候変化とは関係が無いことを明らかにしているものの、作物生産にとって重要な月の降水量減少の影響は甚大でありうることを示した。全国レベルでは、気象変動シナリオにより農家所得は-23%~22%の間で変動している。これらのインパクトを地域別にみると作付け作物などの違いを反映して、-67%~200%の範囲となるようである。最も大きな影響が出るのは、北部乾燥地帯と、南東乾燥地帯である。逆に、中部湿潤地帯では、降水量が増加するため、所得が増える可能性が高いという結果を得ている。

Ricardian アプローチを使った Seo et al. (2005)、Kurukulasuriya and Ajwad (2007) は気候変化が農業所得に及ぼす影響を推計するものであり、個々の農産物の生産量に及ぼす影響について検討したものではなかった。では、気候変化が個々の農産物生産量に及ぼす影響はどうであろうか。Wijeratne et al. (2007) は、茶の生産性への影響を評価している。茶の生産にとっての最適気温は22度であること、月間降水量が100mm減少すると1ha当たりの茶葉生産が30kg~80kg減少することを明らかにしている。作物モデルによる予測でも、湿潤地帯 (Wet zone Up country) を除き、気温上昇と降水量減少により収量が減少することが確認されている。さらに、標高の高い地域では茶の収量が増加する一方で、標高の低い地域では、収量が減少すると予測されている。気温の変化が標高の影響を大きく受けることを考慮すると、不思議な結果ではない。茶の輸出によってスリランカは外貨の多くを稼いでいることを斟酌すると、スリランカ経済に及ぼすインパクトは無視できるものではない。

Peiris et al. (2008) はココナッツの統合型の作物収量モデルを援用し、2040年以降のココナッツ生産は国内消費を満たすに十分ではないことを示している。また、気温の上昇によりココナッツの病害虫が発生しやすくなるので、害虫駆除に関する投資を増やす必要があると警告している。Fernando et al. (2007) は、乾期の期間の拡大と雨期の日射量不足によりココナッツ収量が減少することで、年間3200万ドルから7300万ドルの損失が発生しうると推計している。ココナッツ産業のステークホルダーのなかでは、ココナッツオイル産業が最も気候変化の影響を受けやすいという。

Maruyama (2010) は稲作を対象に、気候変化は収量だけでなく品質に関しても影響を及ぼすことを明らかにし、稲作が気候変化に関して最も脆弱な部門のひとつであることを指摘している。スリランカ政府の気象変動事務局の推計によると、旱魃の頻発による灌漑脆弱性が島中に広がるという (Climate Change Secretariat 2010)。スリランカの稲作はその大部分が天水に依存しているため、特に乾燥地帯では、灌漑に対する脆弱性が最も深刻な脅威となる。

気候変化のインパクト評価には気温や降水量が用いられているが、二酸化炭素濃度の増加は光合成スピードを増加させ葉緑素含有量を高めることに鑑み、二酸化炭素の濃度上昇に伴う影響を分析している研究もある。二酸化炭素の濃度上昇に伴う収量増大効果は施肥効果と呼ばれている。一方で、気温が穀物収量に及ぼす効果は逆U字型であることがわかっており、収量を最大化する気温は最適気温と呼ばれている。最適気温は穀物によって異なっており、最適気温以下の範囲では平均気温の上昇は収量を引き上げ、最適気温以上の範囲では平均気温の上昇は収量を減少さ

せる。

Weerakoon et al. (2008) はスリランカの稲作においては、気温が上昇して 31 ～ 32 度を超えると稲穂不稔が増加することを確認している。また、高温半湿潤な環境の下では、気候変化により花粉不稔性がどこでも生じうることを示唆している。また、気候変化の影響はセイロン島の東北部や東部の乾燥地帯でかなりの影響が出ることを示唆している。スリランカの稲作は天水に依存しており、これらの地域では既に農業用水の不足を経験している地域が含まれている。

以上をまとめると、スリランカにおいては、気候変化により将来気温が上昇すること（2.6 度から 2.9 度）、年平均降水量が減少し灌漑用水が不足するであろうこと、その結果稲の収量は減少するであろうことが分かる。茶に関しては、標高により生産への影響が異なることも分かった。また、収量へのインパクトは作物モデルによる評価や圃場実験データに基づくものが多く、スリランカの収量関数を推計した研究成果は見つからなかった。

2.2 気候変化が収量に及ぼす影響

気候変化が農作物の生産に及ぼす要因には気温、降水量、二酸化炭素濃度などがあり、収量や品質の変化、作付面積を通して生産へのインパクトが生ずる。気候変化に関する多くの研究が注目しているように、収量へのインパクトに焦点をあてて、スリランカの稲作に及ぼす影響について考察する。

Furuya and Koyama (2005) は、主な世界各国のコメ、小麦、トウモロコシ、大豆のマクロの収量関数を推計している。計測式は、収量の対数を線形のタイムトレンド、気温と降水量の対数で説明するものである。残念ながら、我々が研究対象とするスリランカの収量関数は推計されていない⁶が、近隣諸国のコメの収量関数を示すと次の表 1 の通りである。

インドを除き、気候変化の係数は有意ではない。圃場での実験結果ではインパクトがあるにも拘わらず、マクロのデータで有意な結果が得られないのは、気温の分散が小さいことに加え、データの精度の問題などの原因が考えられる。ここでは、スリランカに近いインドの計測結果に従って、コメの収量への影響を見ておく。2015 年のコメの収量は 395kg/ha、9 月の平均気温は 27.9 度である。気候変化により将来の平均気温は 2.5 度から 2.9 度上昇すると見込まれるので気温の変化は 8.96% ～ 10.4% の上昇となる。これに、インドの収量の 9 月平均気温弾力性 -1.994 を乗ざると、-17.9% から -20.7% の収量減少となる。また、MENR (2000) によると、0.5 度の気温上昇により 6 % の収量減少が見込まれるという報告があるので、30% から 35% の収量減少が

6 我々が行った稲作の収量関数の推計結果は下記の通りである：

$$\ln yield = \frac{3.9976}{(3.800)} + \frac{0.01426}{(0.001)} trend + \frac{0.1118}{(0.049)} fertilizer + \frac{0.9685}{(1.136)} \ln temp_{OCT} - \frac{0.0267}{(0.0311)} \ln prec_{NOV}$$

No. obs = 55, Adj-R² = 0.902。但し、括弧内は標準誤差。気候変化を表す変数は有意ではない。4-parameter logistic 型の収量関数なども試したが、サーベイ結果をサポートするような収量関数を得ることは出来なかった。理由はふたつ考えられる。第一は、全国レベルのデータは地域ごとのばらつきを相殺してしまうこと、第二は気候変化を表すデータの分散が小さすぎることである。地域別のデータを用いると有意な結果が得られる可能性が大きい。

表1 コメの収量関数の推計結果

	Trend	降水量	気温	Adj.-R ²	d.w.	Est	Period
インド	0.02	0.04	-1.99	0.47	1.92	AR2	62-00
	3.57	0.59	-2.35				
パキスタン	0.02	-0.01	0.32	0.00	1.97	OLS	62-94
	1.41	-0.57	0.93				
バングラデッシュ	0.02	0.06	0.19	0.29	1.87	AR1	62-90
	2.33	1.23	0.27				
インドネシア	0.03	-0.04	-0.10	-0.05	1.80	OLS	62-90
	3.93	-0.80	-0.25				
タイ	0.01	0.10	0.24	0.35	1.92	AR2	62-00
	2.10	1.42	0.22				
マレーシア	0.01	0.00	-0.33	-0.03	2.09	OLS	62-00
	1.08	-0.17	-0.92				

出所：Furuya and Koyama (2005)

上段は推計値、下段はt値である。また、Estは推計方法を示す。

予想される。さらに、Seo et al. (2005) の Ricardian アプローチでの地域別影響の表地域別 (Table 2 in p.586 及び Table 6 in p.589) を見ると、Kilinochchi 地区の農業所得は稲作のみから構成されており、当該地区での気候変化による農業所得へのインパクトは-17%である。データは2015年ではないが、2012年の1 ha 当たりの年平均コメ生産費を見ると、収入が143,603 rupee、費用が56,005 rupeeである。収入 / 農業所得は1.64、費用 / 農業所得は0.64となる。ベンチマーク年次の農業所得が336 million rupeeなので、生産費から得られる比率を使って推計 (guesstimate) すると、収入は551 million rupee、費用は215 million rupeeとなる。気候変化により費用構造及び作付面積が不変であるとする、収入減少は57.1 million rupeeとなる。米価が変化しないとすれば、収量減少は10.4%となる。

気候変化が収量に及ぼす影響を推計 (guesstimate) すると減少割合のばらつきが大きいので、次節以降での影響分析では、気候変化によりコメの収量が10%、20%、30%減少する場合についてシナリオ分析する。

3. 稲作の収量減少がスリランカ経済に及ぼす影響

本節では、稲作の収量が減少する場合の影響について、応用一般均衡モデルを用いて評価する。

3.1 データとモデルの構造

応用一般均衡分析を行うためには、ベンチマークデータとして各経済主体の収入・支出や財・サービスを始め生産要素の需給を包括的に表す社会会計表⁷が必要である。本研究では、GTAP⁸

7 社会会計表の構造については、例えば齋藤 (2012) を参照のこと。

8 <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/databases/default.asp>

データ Version 9（対象国は 140 国・地域、対象部門は 57 部門）を用いた。GTAP データを、13 部門（コメ、その他穀物、野菜・果実、茶を含むその他作物、畜産・酪農、林業・漁業・鉱業、加工食品、繊維・衣類、軽工業、重工業、建設・公益、運輸・通信、公務・サービス）、3 生産要素（労働、土地、資本）に集計した後、スリランカのデータを抽出した。ベンチマーク年次は 2011 年である⁹。

生産活動を表す生産関数は、労働、土地、資本の間の代替の弾力性を一定¹⁰とする CES 型付加価値関数として集計される付加価値部門と中間投入財が生産量に比例する Leontief 型とした。このような定式化は応用一般均衡分析では一般的なものである。各生産者はこのような規模に関して収穫一定の生産技術を前提とし、与えられた価格と与件として利潤を最大化するように生産物 1 単位当たりの生産要素や原材料の投入量を決定する。規模に関して収穫一定の生産関数を前提としているので生産活動に超過利潤は発生しない。実際の経済活動では営業余剰が発生しているが、データベース上ではこの余剰は本源的生産要素に分配されている。土地及び資本は特殊生産要素、労働は一般生産要素と仮定する。

家計部門は労働、資本、土地を所有し、それを生産活動へ供給することで要素所得を稼得する。生産要素供給は非弾力的であると仮定する。消費量は予算制約条件の下での効用最大化問題の解として決定する。効用関数は Klein-Rubin 型として定式化した。最も簡単な効用関数は Cobb-Douglas 型効用関数であるが、相似拡大的であり、食料品を含み各財の需要の所得弾力性がすべて 1 となり現実的ではない¹¹。この点を解決する最も簡単な定式化が Klein-Rubin 型であり、需要関数はよく知られた線型支出体型となる。かつては需要の実証分析で、Rotterdam モデルや AIDS モデルと並びよく利用されてきた関数型でもある。Cobb-Douglas 型の効用関数であれば、基準年次の財・サービスの支出シェアがわかれば効用関数がカリブレートできるが、Klein-Rubin 型の場合には、各財の基礎消費をもカリブレートする必要があるため、支出と支出から基礎消費への支出分を控除したものの比率（に負号をつけたもの）で定義される Frisch パラメーターの値と各財の支出弾力性が追加的に必要となる。本来であれば、スリランカの実情に合わせて Frisch パラメーターを計量経済学的手法により推計する必要があるが、簡便法により推計 (guesstimate) した値¹²を用いた。

9 スリランカ政府は、2016 年 12 月に 2010 年ベースの産業連関表を公表している。127 部門表であり、GTAP データよりもより詳細な部門データが得られるが、現時点で付加価値部門を労働、土地、資本に分類する基礎データが得られていないために、社会会計表を推計することは難しい。

10 多段階 CES 型集計関数を前提とするため、それぞれの段階の集計関数内では任意の 2 要素間の代替の弾力性がすべて等しくなってしまうという点で若干条件の強い生産構造を仮定している点には注意する必要がある。

11 ホモセティック効用関数の問題については、例えば齋藤・齋藤 (2004) を参照のこと。

12 Sadoulet and de Janvry (1995) で紹介されている推計を利用して Frisch パラメーターを推計した。

3.2 シミュレーション結果

短期の分析では農地と資本を、長期の分析では農地を特殊生産要素と仮定した。長期的には作物間での農地利用も流動的になる可能性が大きいが、暫定的に農地は作物間でも移動が不可能であると仮定する。長期的インパクトと短期的インパクトの違いは、ル・シャトリエの法則により説明することができる。即ち、資源配分の制約のより大きい短期の方がインパクトは大きく、制約が少なくなるにつれてインパクトは小さくなる。本節では、短期的なインパクトを中心に説明する。

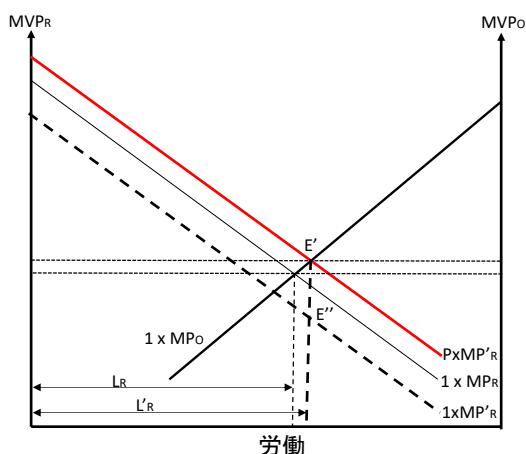


図2 コメ収量減少の影響
出所：著者作成

図2は、気候変化がコメ及びコメ以外の生産に及ぼす短期的影響を模式的に表した図である。コメ部門への労働投入を横軸の左から、コメ以外の生産に投入される労働を横軸の右側から測ることにする。縦軸は、それぞれの産業の限界価値生産性を表す。気候変化でコメの収量が減少すると、コメの価格が一定という条件の下では限界価値生産性が低下するため、コメの限界価値生産性曲線は $1 \times MP_R$ から $1 \times MP'_R$ へ下方シフトする。コメ部門での生産性低下に応じて、労働はコメ部門からコメ以外の部門に移動し、コメの生産量は減少する。コメは必需品であり、需要の価格弾力性が小さいので、生産及び供給の減少は市場価格の上昇を促す。一般的に、限界価値生産力曲線がどの程度シフトするかは弾力性の値に依存するが、シミュレーション結果を先取りして図では最終的な限界価値生産性曲線が、もとの曲線よりも右側にシフトするように描いている。名目賃金は上昇するが、コメ部門の実質賃金は下落し、コメ以外の実質賃金は上昇する¹³。短期的には、労働以外の生産要素は産業に固定されているため、コメ部門のレンタルは上昇し、コメ以外のレンタルは減少する。表2は生産要素報酬の変化をまとめたものであるが、コメの収量が10%減少することで、短期的には名目賃金が0.9%上昇すること、固定的生産要素である地

13 コメ以外の財の価格はそれほど変化しないため、図では一定と仮定している。

代は3%上昇すること、資本の収益率は0.4%上昇することがわかる¹⁴。長期的には、資本も産業間を自由に移動するため、産業間の資本の収益率の低い部門から高い部門へと移動することになる。

表2 要素価格の変化率

(単位：%)

	基準値	短期			長期		
		収量減少率 (%)			収量減少率 (%)		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
資本	1.000	0.385	0.770	1.155	0.070	0.130	0.200
労働	1.000	0.868	1.736	2.604	0.080	0.170	0.250
農地	1.000	3.035	6.070	9.106	2.660	5.330	7.990

出所：著者によるシミュレーション結果

本稿のモデルでは、家計部門数を1としているが、現実には要素賦存の異なる家計が数多く存在しており、生産要素の保有量に応じて名目所得の増加額が異なる。土地を所有しない階級は名目所得の増加額が相対的に小さくなる筈である。一方で、生産物価格の変化は表3に、消費者価格の変化は表4にまとめたとおりである。これらの表を比較すると、価格の動きが微妙に異なる。これは生産財と消費財の間で、財ごとの国産・輸入比率が異なっているためである。需要の価格弾力性が小さいために、コメの消費者価格が大幅に上昇し、家計支出を圧迫する。消費量の変化は表5にまとめた。上でも述べたように、需要の価格弾力性は小さいので、価格は大幅に上昇す

表3 生産財価格の変化率

(単位：%)

	基準値	短期			長期		
		収量減少率 (%)			収量減少率 (%)		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
01 稲作	1.000	13.59	27.17	40.76	9.83	19.65	29.48
02 その他の穀物	1.000	0.12	0.23	0.35	0.00	0.00	0.00
03 野菜・果実	1.000	0.25	0.51	0.76	0.00	-0.01	-0.01
04 その他の作物	1.000	0.05	0.10	0.15	-0.02	-0.04	-0.06
05 畜産・酪農	1.000	0.37	0.75	1.12	0.03	0.07	0.10
06 林業・漁業・鉱業	1.000	0.08	0.16	0.24	0.02	0.03	0.05
07 加工食品	1.000	0.20	0.39	0.58	0.15	0.30	0.45
08 繊維・衣類	1.000	0.09	0.18	0.27	0.05	0.10	0.15
09 軽工業	1.000	0.20	0.41	0.61	0.04	0.08	0.12
10 重工業	1.000	0.08	0.17	0.25	0.03	0.05	0.08
11 建設・公益	1.000	0.56	1.11	1.67	0.07	0.14	0.20
12 運輸・通信	1.000	0.55	1.10	1.65	0.11	0.22	0.33
13 公務・サービス	1.000	0.78	1.55	2.33	0.16	0.32	0.48

出所：著者によるシミュレーション結果

14 土地および資本は固定的生産要素であるため、モデルの中ではそれぞれの生産部門ごとにシャドウ・プライスが計算される。表に示した要素報酬の変化率は生産部門の平均である。

るものの、消費量がそれほど大きく減少するわけではない。GDPの変化は表6にまとめた。名目GDPは増加するものの、実質GDPは収量の減少（「技術退化」）に対応して減少していることを確認することができる。

表4 消費財価格の変化率

(単位：％)

Consumption Price	基準値	短期			長期		
		収量減少率（％）			収量減少率（％）		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
01 稲作	1.000	13.37	26.75	40.12	9.67	19.34	29.02
02 その他の穀物	1.000	0.07	0.14	0.21	0.00	0.00	0.00
03 野菜・果実	1.000	0.22	0.44	0.67	0.00	-0.01	-0.01
04 その他の作物	1.000	0.05	0.10	0.14	-0.02	-0.04	-0.06
05 畜産・酪農	1.000	0.36	0.72	1.08	0.03	0.06	0.10
06 林業・漁業・鉱業	1.000	0.08	0.16	0.24	0.02	0.03	0.05
07 加工食品	1.000	0.17	0.33	0.50	0.13	0.26	0.38
08 繊維・衣類	1.000	0.08	0.15	0.23	0.04	0.09	0.13
09 軽工業	1.000	0.11	0.22	0.33	0.02	0.04	0.07
10 重工業	1.000	0.03	0.06	0.09	0.01	0.02	0.03
11 建設・公益	1.000	0.55	1.11	1.66	0.07	0.14	0.20
12 運輸・通信	1.000	0.51	1.01	1.52	0.10	0.20	0.30
13 公務・サービス	1.000	0.65	1.30	1.95	0.13	0.27	0.40

出所：著者によるシミュレーション結果

表5 消費量の変化率

(単位：％)

	基準値	短期			長期		
		収量減少率（％）			収量減少率（％）		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
01 稲作	1801.5	-1.75	-3.49	-5.24	-1.32	-2.64	-3.96
02 その他の穀物	34.8	0.08	0.15	0.23	0.01	0.01	0.02
03 野菜・果実	3930.9	0.06	0.11	0.17	0.01	0.01	0.02
04 その他の作物	1181.3	0.08	0.16	0.24	0.01	0.02	0.03
05 畜産・酪農	886.6	0.06	0.12	0.18	0.00	0.01	0.01
06 林業・漁業・鉱業	1774.5	0.14	0.27	0.41	0.01	0.01	0.02
07 加工食品	7254.5	0.09	0.19	0.28	-0.02	-0.03	-0.05
08 繊維・衣類	2172.2	0.12	0.25	0.37	0.00	0.00	0.00
09 軽工業	1549.6	0.17	0.34	0.50	0.01	0.01	0.02
10 重工業	3474.5	0.20	0.40	0.59	0.01	0.02	0.03
11 建設・公益	1189.7	0.03	0.05	0.08	-0.01	-0.02	-0.03
12 運輸・通信	13189.2	0.05	0.10	0.15	-0.02	-0.04	-0.07
13 公務・サービス	4972.5	-0.01	-0.02	-0.02	-0.04	-0.07	-0.11

出所：著者によるシミュレーション結果

表6 GDP の変化率

(単位: million USD, %)

	基準値 (million USD)	短期			長期		
		収量減少率 (%)			収量減少率 (%)		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
名目 GDP	59,178	0.69	1.38	2.07	0.29	0.58	0.87
GDP デフレーター	1.000	0.92	1.85	2.77	0.42	0.85	1.27
実質 GDP	59,178	-0.23	-0.47	-0.70	-0.13	-0.27	-0.40

出所：著者によるシミュレーション結果

長期的な影響については、ル・シャトリエの原理に矛盾しない結果となっている。短期的な資本収益率への影響と長期的な資本投入変化は表7にまとめたとおりである。短期的な資本収益率は、コメ以外では酪農・畜産、建設業及び公益、運輸・通信、公務・サービス業で上昇するが、コメ部門への影響が極端に大きい。これを反映してか、長期的な資本投入はコメ部門のみ増加するという結論が得られた。現実的には、経済発展につれて製造業部門などでの生産性向上が牽引役となって、コメ以外の部門での資本投入も増加することになると思われる。

表7 短期の資本報酬と長期の資本投入の変化率

(単位: million USD, %)

Rental Price of Capital	基準値	短期			基準値 (million USD)	長期		
		収量減少率（％）				収量減少率（％）		
		10%	20%	30%		10%	20%	30%
01 稲作	1.000	11.22	22.44	33.66	440.4	3.74	7.47	11.21
02 その他の穀物	1.000	-0.53	-1.07	-1.60	3.4	-0.06	-0.13	-0.19
03 野菜・果実	1.000	-0.10	-0.20	-0.30	621.6	-0.05	-0.10	-0.14
04 その他の作物	1.000	-0.49	-0.99	-1.48	659.5	-0.06	-0.12	-0.18
05 畜産・酪農	1.000	0.22	0.45	0.67	408.5	-0.10	-0.21	-0.31
06 林業・漁業・鉱業	1.000	-0.23	-0.47	-0.70	1375.3	-0.06	-0.11	-0.17
07 加工食品	1.000	-0.20	-0.39	-0.59	3430.8	-0.17	-0.33	-0.50
08 繊維・衣類	1.000	-0.40	-0.79	-1.19	1990.7	-0.26	-0.53	-0.79
09 軽工業	1.000	-0.08	-0.16	-0.23	681.2	-0.13	-0.26	-0.39
10 重工業	1.000	-0.21	-0.42	-0.63	2014.3	-0.12	-0.24	-0.36
11 建設・建設・公益	1.000	0.77	1.55	2.32	2101.8	-0.05	-0.09	-0.14
12 運輸・通信	1.000	0.47	0.95	1.42	10217.2	-0.08	-0.16	-0.24
13 公務・サービス	1.000	0.71	1.42	2.14	1138.8	-0.08	-0.15	-0.23

出所：著者によるシミュレーション結果

表8は、地代の変化をまとめたものである。短期と長期の違いは資本が部門間を移動するか否かであるが、資本移動を前提とするとコメ部門の地代上昇率が減少する。例えば、収量が30%減少すると、稲作部門での地代上昇率は68%から58%へと約10%減少する。

さて、気候変化による農業生産の減少が貧困に及ぼす影響について吟味する前に、フード・セキュリティの基本方程式を振り返っておく。これは、一般的な予算制約を食料に限定して考えた

表8 地代の変化率

(単位：％)

	基準値	短期			長期		
		収量減少率（％）			収量減少率（％）		
		10%	20%	30%	10%	20%	30%
01 稲作	1.000	22.53	45.06	67.60	19.34	38.68	58.02
02 その他の穀物	1.000	-0.53	-1.07	-1.60	-0.17	-0.34	-0.52
03 野菜・果実	1.000	-0.10	-0.20	-0.30	-0.12	-0.23	-0.35
04 その他の作物	1.000	-0.49	-0.99	-1.48	-0.16	-0.32	-0.49
05 畜産・酪農	1.000	0.22	0.45	0.67	-0.13	-0.27	-0.40
06 林業・漁業・鉱業	1.000	-0.23	-0.47	-0.70	-0.21	-0.42	-0.63

出所：著者によるシミュレーション結果

ものである。所得水準の高い先進国では、エンゲル係数が小さく、支出額の大部分は食料品以外へ支出するため、一般的な予算制約式を食料に限定することはできないが、所得水準の低い発展途上国のなかでも、とりわけ貧困層を対象にする場合には有効であると思われる。

基本方程式は以下のように書かれる：

$$(\text{食料必要量} - \text{食料生産量}) \times \text{食料価格} \leq \text{所得} + \text{食料購入に利用可能な流動資産}$$

$$\text{食料必要量} = \text{ひとりあたり必要量} \times \text{世帯員数}$$

$$\text{所得} = \text{賃金} \times \text{労働保有量} + \text{地代} \times \text{農地保有量} + \text{資本レンタル価格} \times \text{資本保有量}$$

この式を見ると、土地を持たない貧困家計では、自給用の食料生産ができず、食料必要量をすべて購入しなければならないばかりか、所得の源泉も労働のみとなる¹⁵ので、食料価格上昇の影響を大きく受けることが分かる。一方で、農地保有量の多い農家は、その保有水準によっては、必要な食料のすべてを自給でまかなえるばかりか、所得も土地なし労働者に比べて大幅に増加するため、食料品の価格上昇は所得の大幅な増加に繋がり、貧しい家計はより貧しく、豊かな家計はより豊かになるとと思われる。

次に検討すべき課題は、シミュレーション結果と家計調査の個票を用いて上記の仮説を検証することである。家計調査の個票の一部は既に入手済みであるが、所得の源泉（労働、土地、資本保有）と家計のコメ生産量に関するデータが得られていないため仮説の検討を行うことは現段階では不可能であるので今後の課題となる。

因みに、現時点で入手済みの家計調査の個票（支出）データを使って、コメの支出の水準についてみておく。図3は Household Income and Expenditure Survey 2012/2013 の個票を使って作成したひとり1ヶ月あたりの所得とひとりあたり支出額をプロットしたものである。スリランカルピーの為替レートが0.6円/ルピー程度なので、10,000ルピーは6,000円程度に相当する。

15 貧困世帯の資本保有は少ないと仮定してこれを無視した。

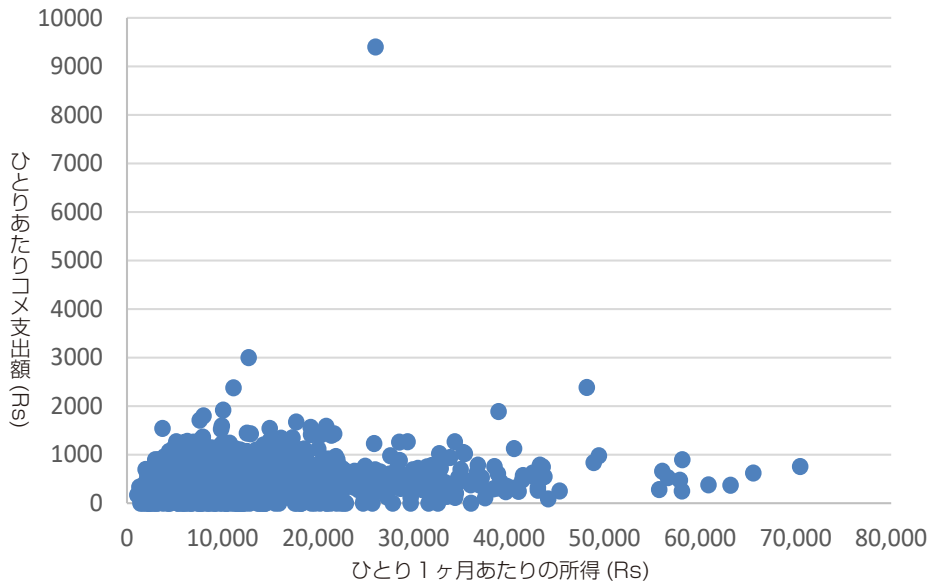


図3 所得とコメ支出額

出所：Household Income and Expenditure Survey 2012/2013 より作成

外れ値が含まれているが、ひとりあたりの支出額はほぼ900ルピー以下¹⁶である。シミュレーション結果によると収量が30%減少する場合の消費者米価上昇率は40.12%、消費量の減少率は5.24%なので、支出額は約35%上昇する。家計所得の少ない貧困世帯ではコメ支出割合が高く貧困に及ぼす影響も大きくなると予想される。

5. まとめ

本研究では、スリランカを対象にして気候変化が農業生産、一国のマクロ経済に及ぼす影響と、貧困層への含意について応用一般均衡モデル及び家計調査の個票データを用いて検討した。気候変化がコメの生産性に及ぼす影響については、圃場実験データをはじめいくつかの研究が存在するが、マクロの収量関数を推計してみると、気候変化を表現する気温や降水量のデータは収量変動には有意に効いてくるという結論は導き出せなかった。これは、我々の研究ばかりではなく、他の研究でも同様の傾向が観察される。地域レベルの気温や降水量データを用いて、再度収量関数を推計してみる必要がある。また、応用一般均衡モデルによる分析結果は、フード・セキュリティの基本方程式を介して検討すると、「価格上昇により貧しい家計はより貧しく、裕福な家計はより裕福になる」という洞察が得られたが、これを家計調査の個票で確認する際に、データに不備があったため、統計的に確認することは現段階ではできていない。この点については、今後の課題としたい。

¹⁶ ひとり1ヶ月あたりのコメ支出額が900ルピー以下のサンプル数は2976で全サンプル数3108の95.8%である。

付表 モデルで使したキー・パラメータ

生産財(部門)	代替の弾力性		支出弾力性	価格弾力性
	付加価値	国産・輸入	家計需要	輸出
01 稲作	0.47	3.8	0.46	-5.7
02 その他の穀物	0.26	2.6	0.46	-5.7
03 野菜・果実	0.26	2.0	0.46	-4.2
04 その他の作物	0.26	3.3	0.46	-6.5
05 畜産・酪農	0.52	3.1	0.77	-7.4
06 林業・漁業・鉱業	0.20	4.9	0.83	-11.3
07 加工食品	1.12	2.2	0.68	-4.5
08 繊維・衣類	1.26	3.7	0.76	-7.5
09 軽工業	1.26	3.4	1.09	-6.7
10 重工業	1.26	3.4	1.11	-7.2
11 公益	1.37	2.1	1.18	-4.6
12 運輸・通信	1.63	1.9	1.33	-3.8
13 公務・サービス	1.26	1.9	1.40	-3.8

出所：GTAP データベース、Rajesh Chadha et al. (1998), 齋藤・齋藤 (2015)。

注意：Frich パラメーターの値は、Sadoulet and de Janvry (1995) を参考に -3.4 とした。

参考文献

- Chandrapala, L. (1996). Long term trends of rainfall and temperature in Sri Lanka. Abrol, Y. P., et al. (Eds.), Climate Variability and Agriculture. Narosa Publishing House, New Delhi, pp. 153-162.
- Chandrapala, L. (1997). Comparison of areal precipitation of Sri Lanka on a district basis during the periods 1931-1960 and 1961-1990. Proceedings of the National Symposium on Climate Change, Colombo, Sri Lanka, 7-8 March 1997.
- Climate Change Secretariat, Ministry of Environment, Sri Lanka. (2010). Public Perceptions of Climate Change in Sri Lanka. ADB Technical Assistance Project on Strengthening Capacity for Climate Change Adaptation. www.climatechange.lk.
- De Costa, W. A. J. M., Weerakoon, W. M. W., Abeywardena, R. M. I., Herath, H. M. L. K. (2003). Response of Photosynthesis and Water Relations of Rice (*Oryza sativa*) to Elevated Atmospheric Carbon Dioxide in the Subhumid Zone of Sri Lanka. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(2): 71-82.
- De Costa, W. A. J. M., Weerakoon, W. M. W., Herath, H. M. L. K., Amaratunga, K.S.P., Abeywardena, R. M. I. (2006). Physiology of yield determination of rice under elevated carbon dioxide at high temperatures in a sub humid tropical climate. *Field Crops Research*. 96(2-3):336-347.
- Domroes, M. (1996). Rainfall variability over Sri Lanka. Abrol, Y. P., Sulochana, G., Pant, G. B. (Eds.), Climate Variability and Agriculture. Narosa Publishing House, New Delhi, pp. 163-179.
- Domroes, M. and Schaefer, D. (2000). Trends of recent temperature and rainfall changes in Sri Lanka. Proceedings of the International Conference on Climate Change and Variability. pp. 197-202.
- Droogers, P. (2004). Adaptation to climate change to enhance food security and preserve environmental quality: example for Southern Sri Lanka. *Agriculture Water Manage.* 66, 15-33.
- Eriyagama, N., Smakhtin, V. (2009). How prepared are water and agricultural sectors in Sri Lanka for climate change? : a review. Paper presented at the Water for Food Conference: national conference addressing water management issues, food security, environment and climate change in Sri Lanka, Colombo, Sri Lanka, 9-11 June 2009.

- Fernando, MTN, L Zubair, TSG Peiris, CS Ranasinghe and J Ratnasiri. (2007) Economic value of climate variability impacts on coconut production in Sri Lanka, AIACC working paper No. 45.
- Fernando, T. K. and L Chandrapala. (1992). Global warming and rainfall variability: the Sri Lankan situation. Proceedings of the 5th International Meeting on Statistical Climatology, Toronto, Canada.
- Furuya and Koyama (2005) Impact of Climate Change on World Agricultural Product Market: Estimation of Macro Yield Function, *Journal of Agricultural Research Quarterly* 39(2), 2005, 121-134.
- Furuya et al. (2015) Climate Change Effects on Long Term World Crop Production: Incorporating a Crop Model into Long-term Yield Estimates, *Japan Agricultural Research Quarterly* 49(2), 2015, 187-202.
- GEMPACK, General Equilibrium Modelling Package, <http://www.copsmodels.com/gempack.htm>
- Kurukulasuriya, P., and M. I. Ajwad. (2007). Application of the Ricardian technique to estimate the impact of climate change on smallholder farming in Sri Lanka. *Climate Change*, 81:39-59.
- Madduma Bandara C. M. and Wickramagamage, P. (2004). Climate change and its impact on upper watershed of the hill country of Sri Lanka. Climate Change Secretariat Working Paper. Environmental Economics and Global Affairs Division, Ministry of Environment and Natural Resources, Battaramulla, Sri Lanka.
- Maruyama, A. (2010). Out-crossing of Heat Stress Affected Spikelets of Lowland Rice in the Sub-humid Zone of Sri Lanka and Its Long-term Implications. www.niaes.affrc.go.jp/marco.
- Mendelsohn, R., A. Dinar and A. Sanghi. (2001) The effect of development on the climate sensitivity of agriculture, *Environment and Development Economics* 6 : 85-101.
- MENR (Ministry of Environment and Natural Resources). (2000). Initial national communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change: Sri Lanka. Colombo: MENR, Government of Sri Lanka.
- Peiris, T. S. G., Hansen, J. W., Zubzir, L. (2008). Use of seasonal climate information to predict coconut production in Sri Lanka. *International Journal of Climatology*, 28(1): 103-110.
- Peiris, T. S. G., Thattil, R. O., Mahindapala, R. (1995). An analysis of the effect of climate and weather on coconut (cocos nucifera). *Experimental Agriculture*, 31: 451-460.
- Rajesh Chadha, Sanjib Pohit, Alan V. Deadorff and Robert M. Stern. (1998) The Impact of Trade and Domestic Policy Reforms in India: A CGE Modeling Approach, University of Michigan Press.
- Sadoulet, E. and de Janvry, A. (1995) Quantitative Development Policy Analysis. Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Seo, S. N., Mendelsohn, R. and Munasinghe, M. (2005). Climate change and agriculture in Sri Lanka: a Ricardian valuation. *Environment and Development Economics*, 10: 581-596.
- Silva, C. S. D., Weatherhead, E. K. Knox, J. W. and Rodriguez-Diaz, J. A. (2007). Predicting the impacts of climate change — A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka, *Agricultural water management*, 93:19-29.
- Weerakoon, W. M. W., Maruyama, A. & Ohba, K. (2008). Impact of humidity on temperature induced grain sterility, in rice (*Oryza sativa* L). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 194, 135-140.
- Wijeratne, M. A., Anandacoomaraswamy, A., and Ratnasiri, J. (2007). Assessment of impact of climate change on productivity of tea (*Camellia sinensis* L.) plantations in Sri Lanka. *J. Natn. Sci, Foundation Sri Lanka*, 35(2): 119-126.
- 齋藤勝宏「ラオスの社会会計表の推計と資源利用に基づく経済発展の可能性」産業連関第20巻1号、2012年。
- 齋藤之美・齋藤勝宏「嗜好と比較優位」創価経済論集、第34巻3・4号、2004年、49-60。
- 齋藤之美・齋藤勝宏・パウデルダマル「ネパールにおける土地改革に関するシミュレーション分析」創価経済論集、第44巻、2015年、33-44。

